

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen.....	9
Vorwort	13
1. Einleitung	15
1.1 Bildwiedergabe und Laserprojektion – Stand der Technik	16
1.2 Motivation und Gliederung dieser Arbeit.....	20
2. Bildentstehung und -wahrnehmung durch das menschliche Auge	23
2.1 Eigenschaften des menschlichen Auges	23
2.1.1 Empfindlichkeit.....	23
2.1.2 Ortsauflösung	25
2.1.3 Zeitauflösung und Bewegungswahrnehmung.....	28
2.2 Bildreproduktion zur direkten visuellen Betrachtung	30
2.2.1 Paralleler Bildaufbau mittels Pixelraster	30
2.2.2 Serieller Bildaufbau durch Scannen.....	31
3. Optomechanisches Systemdesign	41
3.1 Laserstrahlerzeugung und –modulation.....	41
3.2 Strahlablenkung mittels Mikrospiegel.....	44
3.2.1 Grundtypen.....	44
3.2.2 Antriebsprinzipien.....	46
3.2.3 Betriebsarten	51
3.2.4 Herstellungstechnologien.....	53
3.2.5 Anforderungen für Laser-Display-Anwendungen	55
3.2.6 Designbeispiele für Laser-Display-Anwendungen	59
3.3 Strahlablenkeinheit	64
3.3.1 Anordnung der Scannachsen, Auswirkung auf Bildgeometrie..	64
3.3.2 Betrachtungen zu Störreflexen.....	66
3.3.3 Designbeispiele	69
4. Scanneransteuerung und Videosignalverarbeitung.....	77
4.1 Übersicht.....	77
4.2 Resonanter Betrieb der Horizontalachse	78
4.2.1 Anforderungen bzgl. Phasengenauigkeit	78
4.2.2 Phasenregelung und Zeilensynchronisation mittels Einfachschleife.....	80
4.2.3 Phasenregelung und Zeilensynchronisation mittels Doppelschleife.....	82
4.2.4 Nichtlineare Effekte	85
4.2.5 Kapazitive Phasendetektion	87

4.3 Quasistatischer Betrieb der Vertikalachse	88
4.3.1 Linearitätsanforderungen bei quasistatischen Betrieb	88
4.3.2 Sollwertgenerierung und Synchronisierung	93
4.3.3 Linearisierungsmaßnahmen	96
4.3.4 Open-Loop-Betrieb	104
4.3.5 Closed-Loop-Betrieb	111
4.3.6 Optische Positionsdetektion.....	120
4.4 Ansteuerung der Rasterkorrektur	122
4.5 Videosignalverarbeitung.....	124
4.5.1 Konvertierung von Scannpattern und Zeitregime.....	124
4.5.2 Konvertierung der Auflösung	130
5. Scanner- und Systemparameter und deren Auswirkung auf die Bildqualität.....	135
5.1 Parameter zur Beurteilung der Bildqualität.....	135
5.1.1 Übersicht	135
5.1.2 Streulicht, Störreflexe, Streifen, Geisterbilder	137
5.1.3 Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung	139
5.1.4 Bildgröße, Adressierbarkeit, Pixeldichte, Pixelteilung (Pitch)	140
5.1.5 Effektive Pixelgröße, Pixelüberlappung, effektive Auflösung	141
5.1.6 Verzeichnung, Linearität	144
5.1.7 Stabilität des Rasters (Jitter, Swim, Drift)	148
5.1.8 Flimmerverhalten, effektive Austastzeit.....	150
5.2 Scanner- und Systemparameter	151
5.2.1 Übersicht	151
5.2.2 Scannwinkel, Apertur, ΘD-Produkt	151
5.2.3 Vertikaler und Horizontaler Trajektorienfehler.....	153
5.2.4 Achsenkopplung	155
5.2.5 Phasenfehler, Phasendrift, Phasenjitter.....	157
5.2.6 Statische und Dynamische Spiegeldeformation	159
5.2.7 Eigenfrequenzen, Resonanzfrequenzen, Scannfrequenzen	163
5.3 Bildbasiertes Multiparameterertestverfahren für MEMS-Scanner.....	163
5.3.1 Ausgangssituation und Grundidee	163
5.3.2 Apparative Umsetzung	166
5.3.3 Kompensation systematischer Fehler	170
5.3.4 Genauigkeitsanalyse (Fehleranalyse)	171
5.4 Charakterisierung von Realisierungsbeispielen	174
5.4.1 Maximaler Scannwinkel	174
5.4.2 Feldverzeichnung	175
5.4.3 Achsenkopplung	176
5.4.4 Lokale Verzeichnung	176
5.4.5 Linearität/Trajektorienfehler.....	176
5.4.6 Stabilität des Rasters	177
5.4.7 Effektive Gesamtauflösung.....	178
5.4.8 Statische und dynamische Spiegeldeformation	178

5.4.9 Phasenfehler	182
6. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick	185
6.1 Zusammenfassung und Ergebnisdiskussion	185
6.2 Ausblick	190
Anhang A: Weitere Regleransätze.....	193
Anhang B: Multiparameterertestverfahren –	
Formeln zur Berechnung des Maximalfehlers	199
Anhang C: Statische und dynamische Spiegeldeformation.....	203
Literaturverzeichnis	207
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	213
Thesen	219